

ЕЛЕКТРОННІ КОЛА ТА СИГНАЛИ

УДК 621.372

Ю. Я. Бобало, А. П. Бондарєв, І. П. Максимів
Національний університет “Львівська політехніка”

ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ ДОПУСТИМИХ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРІВ У МОДИФІКОВАНОМУ ДЕТЕКТОРІ СИГНАЛІВ ІЗ КВАДРАТУРНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

© Бобало Ю. Я., Бондарєв А. П., Максимів І. П., 2015

У роботі описано результати імітаційного моделювання у програмі Matlab приймання сигналів з квадратурними видами модуляції, зокрема OQPSK, за умови використання модифікованого детектора фазомодульованих сигналів. У результатах наведено залежності відношення сигнал/шум до ймовірності появи біткової помилки модифікованого детектора та класичного детектора, на основі чого зроблено висновки щодо його ефективності.

Ключові слова: OQPSK, відношення сигнал/шум, BER, Simulink, Matlab.

Yu. Bobalo, A. Bondariev, I. Maksymiv
Lviv Polytechnic National University

DETERMINATION OF ACCEPTABLE PARAMETERS AREA IN MODIFIED DETECTOR OF QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING SIGNALS

© Bobalo Yu., Bondariev A., Maksymiv I., 2015

This paper describes the Matlab simulation results of receiving signals with quadrature modulation, such as OQPSK, using modified phase detector. As the result, the BER-to-SNR diagrams were presented for modified and classical detector. The conclusions about its effectiveness were made. There are new methods of modulation signals that allow effective use of the frequency band, and communication systems (eg. trunking) that can effectively distribute the network traffic. However, further development of communication systems is limited by threshold SNR, which is one of the determining factors for the calculation of the capacity of the channel. This paper shows the possibility of increasing noise immunity and capacity of modern cellular communication systems and trunking communication without increasing transmitter power. The improved PLL resistance to noise without changing of dynamic properties is implemented using a modified synchronous phase detector. The proposed scheme of modified PLL device differs from the classical analogue by the narrow band pass filters, placed before the detector, and high-band filter after it. The simulation processes of detection OQPSK signals which were used in modern systems such as cdma2000 were made. For as close as possible to the real analogue, the phase detector in imitation model was implemented with levelling filters. These filters are used in communication systems to reduce intersymbol interference that occurs in the digital channel. Research was carried out for the case of signal detection by classical and modified detectors. The aim of the research was to determine the bit-error rate (BER) in the received signal at a particular value of SNR. The obtained BER-to-SNR values for the classical phase detector were compared with similar ratios given in the open literature. The research results show that modified detector is more efficient than classical detector due to its higher noise immunity. As a result of simulation

model of the modified detector research in Matlab program the recommendations for selecting detector filters parameters at high noise level were made. This makes possible to use them in the designing of modern phase demodulators. The modelling results show the potential for increasing the efficiency of existing cellular communications that use complex types of phase modulation with no additional energy costs. The results of modification using narrowband filters before detector of OQPSK signals can significantly improve its noise immunity and energy efficiency.

Key words: OQPSK, signal-to-noise ratio, BER, Simulink, Matlab.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими завданнями

З появою коміркового зв'язку з'явилися проблеми раціонального використання радіочастотного спектра для забезпечення якісним сервісом великої кількості мобільних абонентів. Останніми роками розвиток сфери безпроводного зв'язку набув широкого масштабу, що спонукало розробників радіообладнання шукати нові шляхи вирішення проблеми раціонального використання виділеного частотного спектра. З'явилися нові спектрально ефективні види модуляції радіосигналів, а також протоколи, які надають можливість ефективно розподіляти трафік у мережі зв'язку. Одним з ключових параметрів, який використовують для оцінки каналу зв'язку, є відношення сигнал-шум (SNR): що менше це значення, то краще, проте за умови збереження відповідної якості зв'язку, тобто ймовірності прийняття помилкового біта (BER). Залежність BER від SNR є ключовою характеристикою каналу зв'язку і оптимізація цієї характеристики є важливим завданням для сучасної науки.

У роботі показано можливість зниження SNR за збереження необхідного BER за допомогою модифікації детектора радіосигналів, а також проведено оптимізацію параметрів фільтрів у цьому детекторі та отримано область рекомендованих параметрів для сигналу з OQPSK-модуляцією.

Імітаційні моделі досліджуваних сигналів та модифікованого детектора

У теорії зв'язку класичним критерієм якості системи зв'язку є положення системи відносно кривої Шеннона – ідеальної межі, досягнувши яку, отримаємо максимальну спектральну ефективність цієї системи за заданого значення сигнал/шум (рис.1).

Стійкість пристрою фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) до шуму та детермінованих завад без зміни динамічних властивостей можна підвищити за допомогою модифікованого пристрою, описаного в роботах [1, 2]. У цьому пристрої вузькосмуговий фільтр зменшує різницю фаз коливань на входах фазового детектора (ФД). Після проходження сигналу через ФД у межах робочої ділянки детекторної характеристики його рівень відновлюється за допомогою активного фільтра верхніх частот. Запропонована схема модифікованого пристрою ФАПЧ відрізняється від класичного аналогу тим, що перед ФД в ньому розташовано вузькосмуговий фільтр, а після ФД – фільтр верхніх частот.

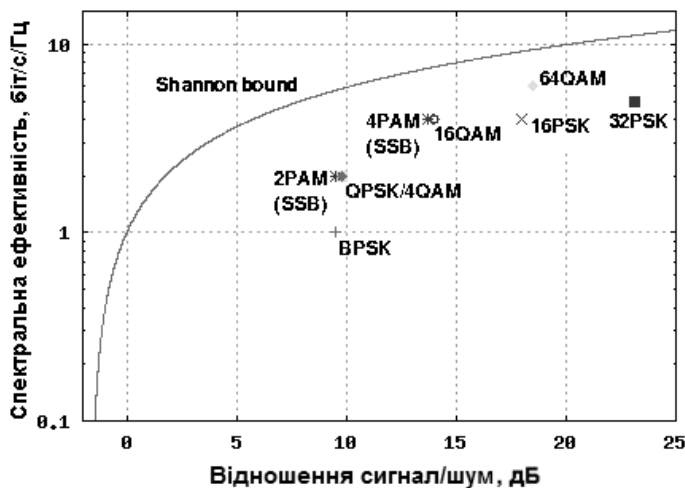


Рис.1. Границя Шеннона та сигнали із сучасними видами модуляції

У роботі об'єктом дослідження є процес детектування сигналів у сучасних системах коміркового зв'язку, що використовують сигнали з фазовою маніпуляцією.

Зокрема, проведено імітаційне моделювання процесів детектування OQPSK-сигналів, які використовуються у таких сучасних системах коміркового зв'язку, як cdma2000.

Імітаційне моделювання виконано за допомогою програми Matlab. Для цього побудовано модель радіоканалу, джерела фазомодульованого сигналу та детектора (рис. 2). Детектор модифіковано за допомогою пропорційно-інтегральних фільтрів, описаних у роботі [1].

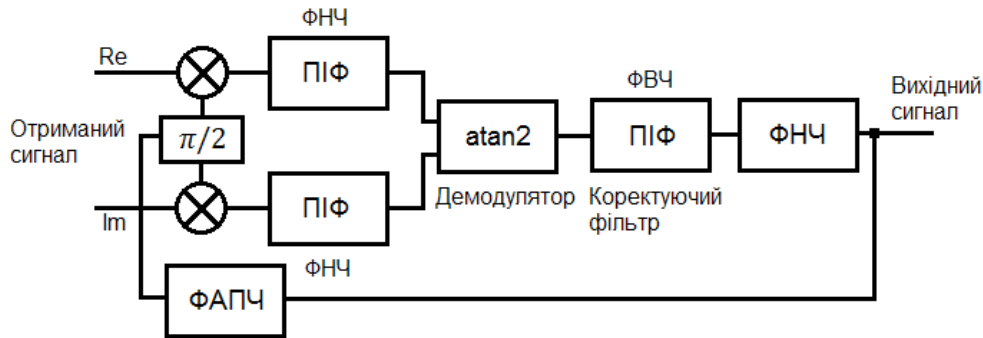


Рис.2. Блок-схема імітаційної моделі модифікованого детектора квадратурного сигналу

Дослідження проведено для випадку детектування сигналу класичним та модифікованим детекторами. Мета дослідження – визначення відношення частоти виникнення бітової помилки у прийнятому сигналі (BER) до конкретного значення відношення сигнал/шум (SNR). Отримані співвідношення для класичного детектора були порівняні з аналогічними співвідношеннями, наведеними у відкритій літературі. Це дало змогу підтвердити рівень адекватності створеної імітаційної моделі. Порівняння цих співвідношень зі співвідношеннями BER/SNR, отриманими у результаті використання модифікованого фазового детектора, дало змогу оцінити його ефективність.

Дослідження детектування OQPSK-сигналу модифікованим детектором

У сучасних системах коміркового зв'язку, побудованих на базі технології CDMA, широко використовується чотирипозиційна фазова модуляція зі зсувом (OQPSK). Прикладом такого застосування є американський стандарт безпроводного зв'язку третього покоління IMT, що використовує радіоінтерфейс cdma2000 [3].

У цьому параграфі досліджено ефективність моделі модифікованого детектора під час детектування OQPSK-сигналів та перевірено її адекватність.

Особливістю цього типу модуляції є те, що квадратурна та синфазна компоненти рознесені у часі між собою на половину періоду. Це означає, що синфазна та квадратурна компоненти сигналу ніколи не змінюються одночасно.

Ще однією важливою особливістю цього типу модуляції є те, що траєкторія зміни фази сигналу ніколи не набуває нульового значення, що є однією з умов коректної роботи модифікованого детектора, розглянутого у цій роботі.

Для побудови OQPSK-сигналу необхідна інформаційна послідовність, на основі якої буде сформовано зміну фази майбутнього сигналу. Для статистичного аналізу прийнятого сигналу у програмі Matlab було створено джерело випадкового сигналу, яке генерує і подає на вхід каналу зв'язку випадкові послідовності бітів для квадратурної та синфазної компонент. Цей спосіб корисний для експериментів, у яких необхідно проаналізувати прийнятий сигнал у порівняно тривалому часовому відрізку. Для візуального аналізу та відстеження якісних змін у отриманому сигналі за різних умов створено детерміновані бітові послідовності, які повністю повторюються для кожного експерименту.

Подавши утворений сигнал на вхід імітаційної моделі, описаної в попередньому пункті, отримаємо чотирипозиційний сигнал, полярну діаграму якого зображено на рис. 3.

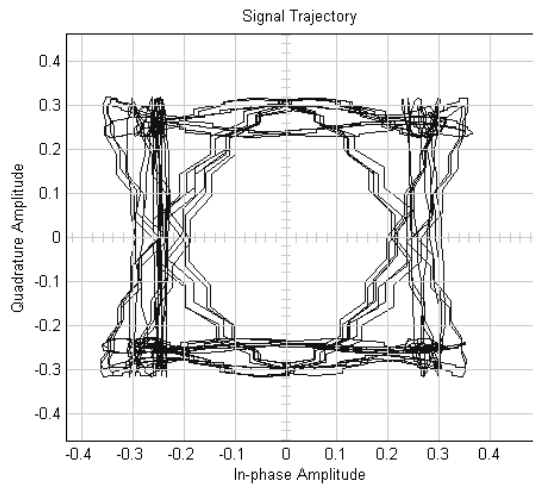


Рис 3. Полярна діаграма зміни фази OQPSK-сигналу

Спочатку дослідження завадостійкості сигналу проводили без використання пропорційно-інтегровальних фільтрів у фазовому детекторі.

Поступово збільшуючи рівень шуму у каналі зв'язку, отримали такий рівень шуму, за якого у каналі виникає пороговий ефект (рис. 4, а). Встановивши пропорційно-інтегровальні фільтри у детекторі, провели аналогічний експеримент. Підвищуючи рівень шуму, досягли значення, за якого у класичному детекторі наставав зрив стеження за фазою, проте пороговий ефект не спостерігався, що свідчить про більшу ефективність модифікованого детектора під час приймання OQPSK-сигналу (рис. 4, б).

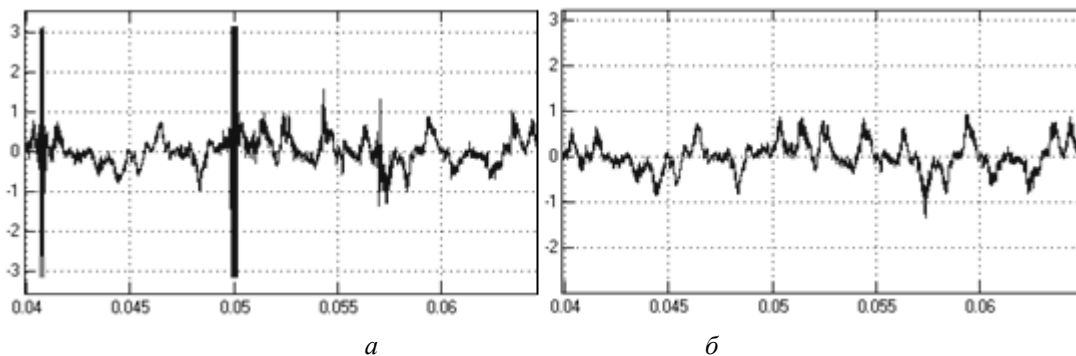


Рис. 4. OQPSK-сигнал на виході класичного (а) та модифікованого (б) детектора за однакового низького значення SNR

Збільшуючи рівень шуму в каналі, порогового ефекту досягали за значно нижчого SNR. Змінюючи значення параметрів пропорційно-інтегровальних фільтрів, встановили їх значення, за яких, за певного відношення сигнал/шум, виникав пороговий ефект у каналі. Так отримано область допустимих значень параметрів модифікованого фазового детектора і визначено оптимальну область цих значень, за яких завадостійкість детектора є найвищою (табл. 1).

Таблиця 1

Область допустимих значень параметрів модифікованого детектора для OQPSK-сигналів

| T_0, c \ m_0 | 0.05 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 1 |
|------------------|------|------|------|------|-----|
| 0.1 | 6.53 | 6.44 | 6.67 | 6.56 | 7.8 |
| 0.05 | 6.81 | 6.35 | 6.5 | 6.59 | 7.8 |
| 0.02 | 7.49 | 6.95 | 6.46 | 6.52 | 7.8 |
| 0.01 | 7.62 | 7.42 | 6.68 | 6.52 | 7.8 |

На основі отриманої таблиці побудовано діаграму, на якій зображено області з різними значеннями відношення сигнал/шум для відповідних значень параметрів фільтрів модифікованого детектора за умови приймання OQPSK-сигналу. З діаграми видно, що найбільшій завадостійкості можна досягти за коефіцієнта пропорційності $m_0=0.1$ та інерційності фільтра $T_0=0.05$ с. За цих умов мінімально допустиме відношення сигнал/шум на фазовому детекторі приблизно на 1.5 дБ менше, ніж аналогічне відношення для класичного детектора.

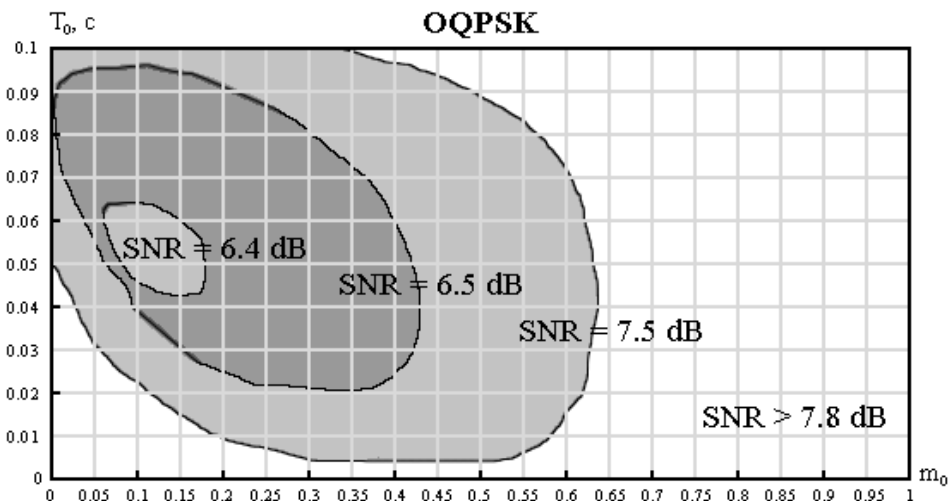


Рис. 5. Области допустимих значень параметрів модифікованого детектора для OQPSK-сигналів

Відношення ймовірності виникнення бітової помилки (BER) до мінімально необхідного відношення сигнал/шум (SNR) є важливим критерієм, який використовують для оцінювання ефективності системи зв'язку. В імітаційній моделі каналу зв'язку відношення BER/SNR знайшли, аналізуючи статистичні дані, отримані детектором помилок. Подавши довгу інформаційну послідовність на вхід моделі за певного SNR, підраховали кількість помилок, що виникли у сигналі після його детектування. Результати цього експерименту для OQPSK-модуляції зображено на діаграмі (рис. 6).

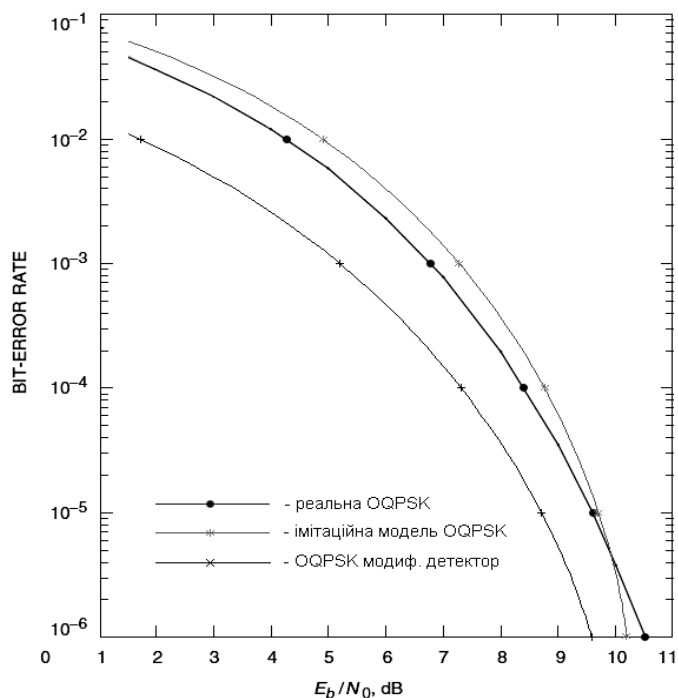


Рис. 6. Відношення BER до SNR для OQPSK-модуляції, отримане у результаті імітаційного моделювання

З графіка видно, що крива BER/SNR для імітаційної моделі практично збігається з аналогічною кривою для реальних систем, що свідчить про відповідність моделі реальній системі зв'язку. Аналогічне відношення отримано з використанням модифікованого детектора з оптимальними параметрами, знайденими у попередньому експерименті.

Параметри пропорційно-інтегральних фільтрів детектора вибрано з табл. 1. За цих параметрів контрольні значення BER отримано за значно нижчого допустимого відношення сигнал/шум. Наприклад, для ймовірності бітової помилки 10^{-5} , яка є стандартом для коміркового зв'язку, значення мінімально необхідного SNR на 1.2 дБ нижче, ніж у звичайному детекторі. Це повторно підтверджує високу завадостійкість досліджуваного модифікованого детектора.

Отримані результати показали, що ефективність систем радіозв'язку, у яких застосовується квадратурна модуляція сигналів, зростає за рахунок зниження порога чутливості модифікованого фазового детектора. Отже, OQPSK-сигнал можна наблизити до границі Шеннона (рис. 7) по осі відношення сигнал/шум.

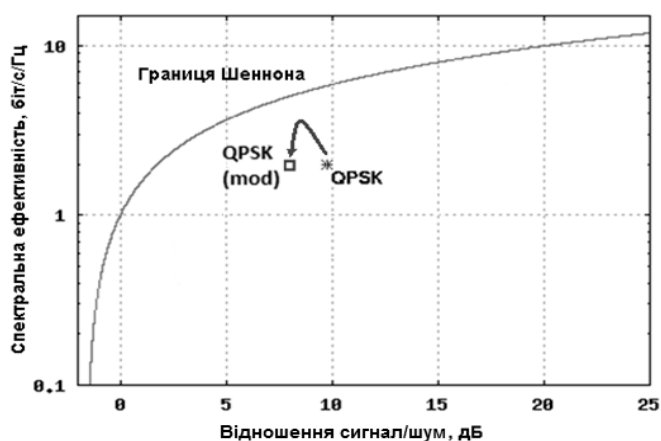


Рис. 7. Сигнал OQPSK (отриманий класичним і модифікованим детектором) та крива Шеннона

Отже, використання пропорційно-інтегральних фільтрів суттєво зменшує рівень складової шуму в сигналі, а також зменшує аномальні стрибки фази на етапі детектування. Встановлено, що ефективність модифікованого детектора залежить від таких параметрів, як інерційність та коефіцієнт пропорційності застосованих у ньому пропорційно-інтегральних фільтрів. Подальші дослідження у цьому напрямі передбачають імплементацію модифікованого фазового детектора у вигляді реальної схеми з використанням оптимальних параметрів, отриманих за допомогою імітаційного моделювання.

Висновки

Проведено імітаційне моделювання, під час якого досліджувалась завадостійкість модифікованого детектора з використанням вузькосмугових пропорційно-інтегральних фільтрів. За експериментальний сигнал було вибрано OQPSK-сигнал. У результаті моделювання встановлено, що якість детектування покращується зі зростанням значення інерційності фільтра та зі зменшенням коефіцієнта пропорційності. Визначено діапазон оптимальних значень цих параметрів, за яких працездатність детектора зберігається, а завадостійкість сигналу значно зростає порівняно зі звичайним детектором. Отримане відношення BER до SNR-сигналу доводить ефективність модифікованої схеми.

1. Бондарєв А.П., Максимів І.П. Дослідження впливу пропорційно-інтегруючих фільтрів на якість детектування ФМ сигналів // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Радіоелектроніка та телекомунікації". – Львів, 2010.
2. Bondariev A., Maksymiv I. Method of improvement of quality indexes of detecting in cellular communication systems // Electronics and electrical engineering. – Kaunas, 2012. – No.10 – P.85–88.
3. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи // Горячая линия Телеком. – М., 2006.